

# Analisis Kesiapan Modernisasi Irigasi dan Optimasi Alokasi Air Irigasi pada Daerah Irigasi Belitang

Analysis of Irrigation Modernization Readiness and Optimization of Irrigation Water Allocation at Belitang Irrigation System

Fathul Imron<sup>1,2</sup>, Murtiningrum Murtiningrum<sup>1\*</sup>, Sigit Supadmo Arif<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Jl. Flora No. 1, Bulaksumur, Yogyakarta 55281, Indonesia

<sup>2</sup>Dinas Tanaman Pangan, Hortikultura dan Peternakan, Kabupaten Way Kanan, Indonesia

\*Penulis korespondensi: Murtiningrum Murtiningrum, Email: tiningm@ugm.ac.id

Submisi: 30 Juni 2021; Revisi: 7 September, 19 September 2021, 11 November 2021;  
Diterima: 11 November 2021; Dipublikasi: 28 November 2022

## ABSTRAK

Penilaian pilar irigasi untuk mengukur tingkat kesiapan menuju modernisasi irigasi diperlukan dalam rangka implementasi modernisasi irigasi di Daerah Irigasi Belitang. Ketersediaan air irigasi menjadi pilar yang perlu untuk dioptimasi sebelum implementasi modernisasi irigasi. Tujuan penelitian ini adalah menilai dan mengkaji kesiapan modernisasi irigasi, menetapkan prioritas pengembangan modernisasi pada Daerah Irigasi (DI) Belitang, serta menentukan alokasi air optimal sebagai upaya meningkatkan pilar keandalan penyediaan air. Metode IKMI digunakan untuk mengukur kesiapan modernisasi irigasi DI Belitang sedangkan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) digunakan untuk menentukan prioritas kebijakan pengembangan modernisasi irigasi. Optimasi alokasi air dimaksudkan untuk menambah luas tanam dianalisis dengan program linier. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berdasarkan hasil penilaian indeks kesiapan modernisasi irigasi yaitu 69,05, DI Belitang masuk dalam kategori cukup. DI Belitang pada tingkat wilayah belum siap untuk dimodernisasi sehingga diperlukan pengembangan dan perbaikan sistem irigasi terlebih dahulu selama 1 sampai 2 tahun. Pengembangan dan perbaikan kinerja menuju modernisasi irigasi berdasarkan analisis dengan AHP mengikuti urutan Belitang III, Belitang I dan Belitang II. Keuntungan maksimum dan luas tanam optimal dengan optimasi alokasi air diperoleh dengan penerapan Golongan pada wilayah DI Belitang dan pola tanam padi-padi-palawija. Penerapan Golongan di 3 wilayah DI Belitang dapat menghindari defisit air tetapi terdapat surplus air pada Masa Tanam (MT) I dan MT II. Dengan demikian, optimasi alokasi air dapat menjadi upaya dalam peningkatan keandalan penyediaan air irigasi.

**Kata kunci:** *Analytic hierarchy process*; Daerah Irigasi Belitang; metode IKMI; modernisasi irigasi; optimasi

## ABSTRACT

Assessment of irrigation pillars to examine the readiness level irrigation modernization was required before the completion of irrigation modernization in the Belitang Irrigation System. The irrigation water availability was essential to be optimized prior to the implementation of irrigation modernization. The objectives of this study were to assess and to determine the readiness of irrigation modernization, to decide the priorities of irrigation

modernization in the Belitang Irrigation System and to optimize the water allocation as an attempt to increase the pillars of water availability. The IKMI method was employed to determine the irrigation modernization readiness in the Belitang Irrigation System, while Analytical Hierarchy Process (AHP) method was utilized to determine the priority for irrigation modernization development. The optimization of water allocation was analyzed using linear programming in order to increase the cropping area. This study proved that based on the IKMI assessment of Belitang Irrigation System was 69.05, which was categorized as less ready for irrigation modernization. As a consequence, system improvements are required 1 to 2 years prior to the irrigation modernization. The AHP analysis resulted in the order of irrigation system development and enhancement for irrigation modernization i.e. Belitang III, Belitang I and Belitang II with weighted values of 1.51, 1.65, and 1.67, respectively. The optimal cropping pattern to obtain maximum benefit and optimization of water allocation was achieved by implementation of Groups in the Belitang Irrigation System and the Cropping Pattern of paddy-paddy-second crop. The Groups application in 3 Regions of Belitang Irrigation System could decrease the water deficit and provide water surplus in planting season I and II. Optimization of water allocation would enhance the irrigation water reliability.

**Keywords:** Analytic hierarchy process; Belitang Irrigation System; IKMI method; irrigation modernization; optimization

## PENDAHULUAN

Peningkatan produktivitas pertanian pada dasarnya dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satunya adalah penggunaan irigasi. Irigasi berfungsi sebagai penyedia air dengan cara mengalirkan air ke lahan pertanian untuk memenuhi kebutuhan air dan membuang air kembali setelah digunakan (Ernawati, Yulianti, & Suryana, 2014). Untuk memenuhi kebutuhan air pertanian tersebut, konsumsi air irigasi untuk pertanian yang dibutuhkan dengan jumlah yang besar. Oleh karena itu, peningkatan efisiensi penggunaan air pertanian dengan mengalokasikan sumber daya air irigasi secara efektif; diharapkan menjadi alternatif upaya memastikan dan mendorong pengembangan pertanian berkelanjutan (Zhang & Guo, 2018).

Sektor irigasi untuk pertanian Indonesia masih tergantung pada irigasi permukaan yang pengelolaan sistemnya masih ada beberapa kendala. Keandalan air irigasi masih rendah karena kinerja jaringan irigasi masih bergantung pada kondisi wilayah sungai. Hal ini ditunjukkan dengan luas irigasi permukaan yang airnya masih dijamin oleh waduk sebesar 76.542 Ha (10,7%), sedangkan sebesar 6.383.626 Ha (89,3%) mengandalkan debit air sungai (Deputi Bidang Koordinasi Pangan dan Pertanian, 2018). Kurang optimalnya kinerja jaringan irigasi juga terjadi karena kurangnya kuantitas dan kualitas sumber daya manusia pengelola irigasi dan kondisi prasarana irigasi permukaan yang belum optimal (Sari, Anwar, & Sidharti, 2019).

Salah satu daerah irigasi di Indonesia yang memanfaatkan debit air sungai untuk mengairi irigasi permukaan adalah Daerah Irigasi (DI) Belitang. Disamping kendala kerusakan jaringan irigasi sebagaimana terjadi pada 46% kondisi irigasi

di Indonesia, DI Belitang juga mengalami kendala belum optimalnya pengelolaan irigasi dan rendahnya efisiensi penggunaan air. Hal tersebut berpengaruh terhadap ketersediaan air untuk memenuhi kebutuhan air irigasi di area lahan pertanian. Oleh karena itu, untuk memperbaiki kinerja sistem pengelolaan irigasi dan ketersediaan air perlu adanya upaya-upaya yang dilakukan oleh pemerintah. Upaya yang dilakukan oleh pemerintah saat ini yaitu modernisasi irigasi terhadap lima pilar irigasi (Arif, dkk., 2014). Pada pilar keandalan penyediaan air, salah satu upaya yang dapat dilakukan yaitu perbaikan alokasi air irigasi dengan mengoptimalkan alokasi air sehingga distribusi air irigasi ke lahan pertanian dapat dilakukan secara optimal dan meningkatkan keuntungan hasil pertanian.

Selaras dengan kebijakan pemerintah mengenai modernisasi irigasi, maka pada DI Belitang perlu dilakukan pengambilan keputusan terkait kesiapan modernisasi irigasi atau diperlukan penyempurnaan sistem pengelolaan terlebih dahulu. Selain itu, dengan terbatasnya ketersediaan air juga perlu dilakukan optimasi alokasi air irigasi pada DI Belitang. Sebelum modernisasi irigasi dilakukan, analisis kesiapan modernisasi irigasi terhadap lima pilar irigasi DI Belitang perlu dilakukan. Penilaian kesiapan Daerah Irigasi diukur dengan Indeks Kesiapan Modernisasi Irigasi (IKMI) yang dapat digunakan untuk merumuskan dan menentukan langkah strategi selanjutnya (Pradipta, Prastyasta, & Arif, 2019). Selanjutnya untuk pengambilan keputusan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Sedangkan untuk optimasi alokasi air irigasi diawali dengan analisis terhadap faktor yang mempengaruhi pemberian air irigasi meliputi, ketersediaan air, kebutuhan air, keseimbangan air dan perencanaan pola tanam

baik jenis tanaman maupun jadwal tanam (Sayekti, 2012). Selanjutnya untuk melakukan perhitungan studi optimasi alokasi air pada DI Belitang, salah satu program yang dapat digunakan adalah program linier (*Linear Programming*, LP).

Analisis indeks kesiapan modernisasi irigasi dan optimasi alokasi air irigasi juga dibahas dalam beberapa penelitian terdahulu. (Pradipta, Prastyasta, & Arif, 2019) menggunakan metode AHP yang dikombinasikan dengan *K-Medoids Clustering* untuk analisis kesiapan modernisasi irigasi di DI Kedung putri secara berkelompok sesuai dengan klaster saluran sekunder. (Limantara, Bisri, & Fajrianto, 2018) menggunakan program linier untuk mengoptimasi alokasi air dengan pola tanam di DI Kosinggolan. Dari beberapa penelitian tersebut, penelitian ini mengadopsi penggunaan metode AHP untuk pengambilan keputusan terkait kesiapan modernisasi irigasi dan program linier dengan fasilitas solver di software *Microsoft excel* untuk optimasi alokasi air irigasi. Metode AHP digunakan karena pengambilan keputusan dilakukan secara komprehensif dan mempunyai kemampuan untuk menyelesaikan masalah dengan melibatkan banyak kriteria untuk menentukan peringkat alternatif keputusan berbentuk skala prioritas (Saaty, 2008). Perbedaan penelitian ini dengan yang terdahulu yaitu terletak pada obyek penelitian (DI Belitang) yang belum pernah diteliti, optimasi alokasi air tidak hanya dengan pola tanam tetapi juga sistem golongan, dan penentuan skala prioritas modernisasi irigasi untuk skala wilayah Daerah Irigasi tanpa pembuatan klaster.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kesiapan modernisasi irigasi dan menentukan prioritas strategi persiapan modernisasi irigasi di DI Belitang, serta menganalisis optimasi alokasi air sebagai salah satu upaya untuk meningkatkan pilar keandalan penyediaan air irigasi.

## **METODE PENELITIAN**

### **Lokasi Penelitian**

Penelitian ini dilakukan pada DI Belitang yang secara administrative berlokasi di Kabupaten Ogan Komering Ulu Timur (OKU Timur) Provinsi Sumatera Selatan. Daerah irigasi ini dimanfaatkan untuk mengairi lahan pertanian seluas 51.598 Ha yang terbagi dalam 3 wilayah diantaranya belitang I seluas 6.051 Ha, Belitang II seluas 7.576 Ha dan Belitang III seluas 7.971 Ha. Instansi yang berwenang adalah Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Sumatera VIII yaitu instansi vertikal di bawah Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Sumber air Daerah Irigasi Belitang berasal dari Sungai

Komering melalui Bendung Perjaya yang dialirkan melalui Saluran Sekunder Belitang.

### **Pengumpulan Data**

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer yang berkaitan dengan pilar irigasi dikumpulkan dengan menggunakan dua metode yaitu observasi berupa Penelusuran Jaringan Irigasi (PJI) untuk pilar prasarana irigasi dan wawancara menggunakan daftar pertanyaan (*checklist*) untuk 4 pilar irigasi lainnya. Penelusuran jaringan irigasi dilakukan untuk mengukur persentase panjang saluran dan jumlah bangunan dengan kondisi baik terhadap panjang saluran dan bangunan total. Hasil dari persentase digunakan sebagai penilaian kesiapan modernisasi irigasi terhadap pilar prasarana irigasi. Penelusuran jaringan dilakukan bersama dengan juru/petugas operasi dan pemeliharaan saluran irigasi.

Wawancara dengan menggunakan kuisioner dilakukan untuk pengumpulan data pada 4 pilar irigasi lainnya yaitu ketersediaan air, sistem pengelolaan, institusi pengelola dan sumber daya manusia. Formulir kuisioner dan bobot pertanyaan yang mewakili pilar-pilar tertentu mengacu pada panduan modernisasi irigasi (Direktorat Jenderal Sumberdaya Air, Direktorat Irigasi dan Rawa, 2011). Responden dalam penelitian ini yang diwawancarai untuk penilaian kesiapan modernisasi irigasi meliputi dari pihak BBWS Sumatera VIII, Dinas Pekerjaan Umum, Kantor Bendung Perjaya, Unit Pelaksana Teknis Daerah (UPTD) atau Wilayah Pengamat baik Belitang I, Belitang II dan Belitang III, Induk Perkumpulan Petani Pemakai Air (IP3A), Gabungan Perkumpulan Petani Pemakai Air (GP3A) dan Perkumpulan Petani Pemakai Air (P3A).

Data sekunder diperoleh dari beberapa instansi. Peta dan skema jaringan irigasi, debit air, kelembagaan irigasi, daerah irigasi, dan pola tanam diperoleh dari Kantor Bendungan Perjaya dan Kantor Wilayah DI Belitang. Komoditas tanaman dan produktivitas pertanian diperoleh dari Dinas Pertanian Kabupaten OKU Timur. Curah hujan, suhu udara, kelembaban, lama penyinaran matahari, dan kecepatan angin diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Palembang. Nilai jual dan biaya produksi diperoleh dari Badan Pusat Statistik Kabupaten OKU Timur.

### **Pengolahan Data**

#### **Penentuan nilai indeks kesiapan modernisasi irigasi (IKMI)**

Penentuan nilai IKMI dilakukan berdasarkan hasil rekapitulasi penilaian dari kuisioner dan penelusuran jaringan irigasi. Masing-masing komponen diberikan

Tabel 1. Klasifikasi kesiapan modernisasi irigasi berdasarkan nilai IKMI

Nilai IKMI	Kategori	Aplikasi modernisasi irigasi
>80	Baik	Modernisasi dapat diterapkan
50-80	Cukup Baik	Modernisasi ditunda dan perlu penyempurnaan selama 1-2 tahun.
30-50	Kurang Baik	Modernisasi ditunda dan perlu penyempurnaan selama 2-4 tahun.
<30	Sangat Kurang	Modernisasi irigasi tidak perlu dilakukan atau dilakukan penyempurnaan yang fundamental

skor atau nilai berdasarkan data yang diperoleh. Data yang diperoleh dari penelusuran jaringan irigasi terhadap prasarana irigasi pada ketiga wilayah dengan skala 0-100 % digabungkan, sehingga rekapitulasi penilaian dari 5 pilar irigasi dapat diperoleh. Kemudian seluruh penilaian 5 pilar dikalikan dengan bobot utama pilar, diantaranya 20% untuk pilar ketersediaan air, 25% untuk pilar prasarana, 15% untuk pilar sistem pengelolaan, 20% untuk pilar institusi pengelola, dan 20% untuk pilar SDM (Pradipta, Prastyasta, & Arif, 2019). Hasil penilaian yang telah terbobot dijumlahkan untuk memperoleh nilai atau skor IKMI yang selanjutnya dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori yang dapat dilihat pada Tabel 1.

**Analytic Hierarchy Process (AHP)**

Langkah analisis yang pertama adalah membentuk hierarki dengan hubungan hierarkis langsung antar level yang disusun dari atas ke bawah, dimulai dari tujuan, berlanjut ke kriteria dan kemudian ke alternatif terakhir. Hirarki AHP dapat dilihat pada Gambar 1.

Penentuan kriteria perbandingan berpasangan merupakan langkah selanjutnya dalam analisis menggunakan metode AHP, yaitu membuat matriks

yang berisi rasio kepentingan relatif antara satu kriteria dengan kriteria lainnya yang dapat dilihat pada Persamaan 1 (Achu dkk., 2020).

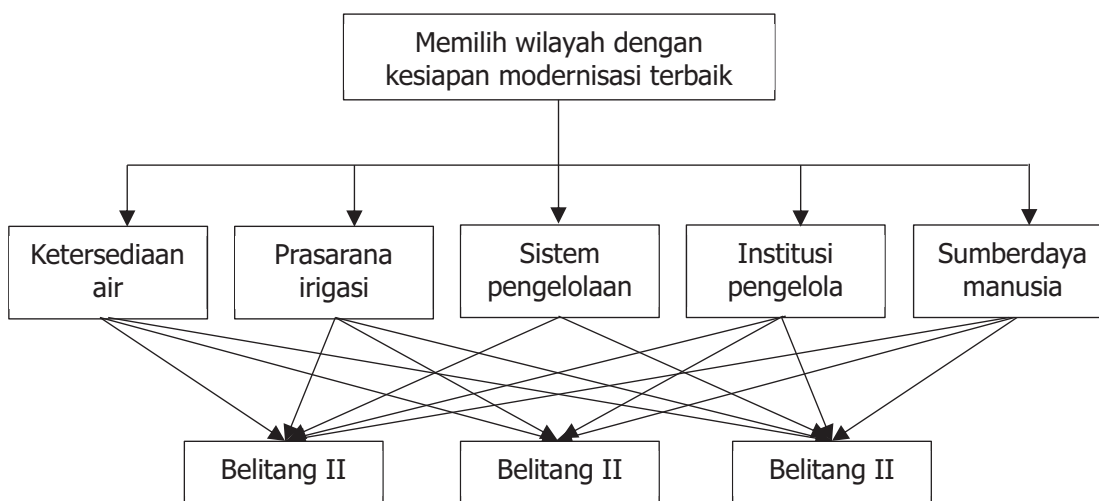
$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & \dots & 1 \end{pmatrix} \tag{1}$$

Dimana  $a_{ij}$  adalah bobot kriteria i dibagi bobot kriteria j

Kepentingan relatif setiap elemen dihitung dengan menormalkan vektor eigen yang terkait dengan nilai eigen maksimum dari matriks perbandingan berpasangan. Penyusunan matriks *pairwise comparison* kriteria didasarkan pada bobot tiap pilar yang tertuang pada Pedoman Modernisasi Irigasi (Pradipta, Prastyasta, & Arif, 2019).

**Optimasi Alokasi Air Irigasi**

Ketersediaan air irigasi diperoleh berdasarkan debit air yang tersedia yaitu debit andalan 80%.



Gambar 1. Bagan hirarki AHP

Analisis debit andalan dilakukan dengan pendekatan probabilitas kejadian menggunakan metode Weibull (Juwono, Limantara, & Rosiadi, 2018). Persamaan yang digunakan disajikan pada Persamaan (2).

$$P = \frac{m}{n + 1} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana, P = Probabilitas kejadian, m = nomor urut data dari besar ke kecil dan n = jumlah data.

Kebutuhan air irigasi ditentukan dengan menggunakan metode Van De Goor (Juwono, Limantara, & Rosiadi, 2018). Salah satu faktor yang menentukan kebutuhan irigasi yaitu evapotranspirasi yang ditentukan dengan metode Penman (Suro, 2012). Kebutuhan air irigasi ditentukan dengan Persamaan (3).

$$KAI = Etc + IR + RW + P - R_{eff} \quad (3)$$

Dimana, KAI = kebutuhan air irigasi (m<sup>3</sup>/detik), Etc = kebutuhan air konsumtif (mm/hari), IR = kebutuhan air untuk penyiapan lahan (mm/hari), RW = kebutuhan air untuk pemeliharaan (mm/hari), P = perkolasi (mm/hari), dan R<sub>eff</sub> = curah hujan efektif (mm/hari).

Keuntungan produksi tanaman dipengaruhi oleh harga jual produksi pertanian dan produktivitas pertanian per ha dan total biaya produksi per hektar. Perhitungan tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan (4) (Aini, 2015; Nandini, 2018).

$$\pi = TR - TC \quad (4)$$

Dimana, π = keuntungan produksi tanaman per ha, TR = pendapatan produksi tanaman per ha, dan TC = biaya total produksi tanaman per ha.

### Linier Programming

Program linier yang digunakan pada penelitian ini yaitu fasilitas *Solver* yang ada di Software *Microsoft Excel*. Model program linier terdiri dari 3 unsur dasar

meliputi, fungsi tujuan, fungsi kendala dan variable keputusan. Fungsi tujuan merupakan variabel dari total keuntungan maksimum yang hendak dicari. Persamaan matematikanya ditunjukkan pada Persamaan (5),

$$\max Z = \sum_{k=1}^p a X_{ijMt-k} + \sum_{k=1}^p b X_{ijMt-k} \quad (5)$$

Dimana, maxZ = total keuntungan maksimum (rupiah), X = luas area komoditas tanaman (ha), a, b = keuntungan produksi komoditas per ha (rupiah/Ha), Mt-k = musim tanam ke-k (1,2,3), i = golongan I (1, 2, 3), j = jenis komoditas tanaman j (1, 2), p = jumlah variabel musim tanam (1, 2, 3).

Persamaan matematika fungsi kendala ketersediaan air dapat dirumuskan dengan Persamaan (6),

$$\sum_{k=1}^p X_{ijl} K_{ijl} \leq Q_l \quad (7)$$

Dimana, K<sub>ijl</sub> = kebutuhan air untuk komoditi j pada golongan i pada setengah bulan ke-l (m<sup>3</sup>/detik), Q<sub>l</sub> = ketersediaan air pada periode setengah bulanan ke-l (m<sup>3</sup>/detik), l = periode setengah bulanan (1-24).

Persamaan matematika kendala luas lahan dapat dirumuskan dengan Persamaan (7),

$$\sum_{k=1}^p X_{ijl} K_{ijl} \leq Q_l \quad (8)$$

Dimana, X = luas tanam komoditas j pada golongan i musim tanam ke-k (ha)

### Jadwal Tanam dan Pola Tanam

Untuk mengoptimalkan ketersediaan air, jadwal tanam di DI Belitang dikelompokkan menjadi 3 golongan yaitu Golongan 1 (Belitang I), Golongan 2 (Belitang II) dan Golongan 3 (Belitang III). Terdapat 3 skenario pola tanam yaitu pola tanam I (Padi-Padi-Padi), pola tanam II (Padi-Padi-Padi/Palawija) dan pola tanam III (Padi-

Tabel 2. Jadwal tanam untuk setiap golongan pada setiap musim tanam

Musim tanam	Jadwal tanam		
	Golongan 1	Golongan 2	Golongan 3
Musim tanam I	Oktober ke-2	November ke-1	November ke-2
Musim tanam II	Februari ke-2	Maret ke-1	Maret ke-2
Musim tanam III	Juni ke-2	Juli ke-1	Juli ke-2

Tabel 3. Nilai IKMI ketiga wilayah pengamat DI Belitang

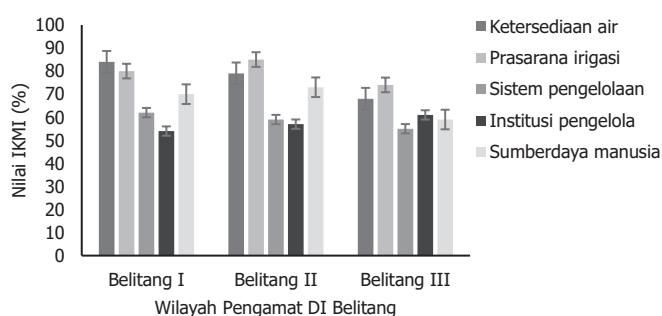
Pilar Irigasi	Wilayah pengamat DI Belitang		
	Belitang I	Belitang II	Belitang III
Ketersediaan air	16,80	15,80	13,60
Prasarana irigasi	20,00	21,25	18,50
Sistem pengelolaan	9,30	8,85	8,25
Institusi pengelola	10,80	11,40	12,20
Sumberdaya manusia	14,00	14,60	11,80
Total IKMI (%)	70,90	71,90	64,35

Padi-Palawija). Palawija yang ditanam adalah jagung. Jadwal tanam yang digunakan untuk setiap musim tanam dapat dilihat pada Tabel 2.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Distribusi Nilai IKMI di Wilayah Pengamat DI Belitang

Hasil penentuan nilai IKMI pada tingkat wilayah pengamat secara keseluruhan masih belum siap untuk dilakukan modernisasi irigasi, sehingga diperlukan kebijakan untuk pengembangan dan penyempurnaan pada pilar modernisasi irigasi. Nilai IKMI tiga wilayah baik Belitang I, Belitang II maupun Belitang III masih berada pada rentang 50 sampai 80 yang masuk dalam predikat cukup. Distribusi Nilai IKMI setiap pilar modernisasi irigasi untuk wilayah pengamat dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 2. Distribusi nilai IKMI setiap wilayah pengamat

Sebaran nilai IKMI pilar modernisasi irigasi pada tiap wilayah pengamat ditunjukkan pada Gambar 2 dapat dilihat kinerja pilar irigasi pada tiap wilayah pengamat berbeda-beda. Belitang I memiliki nilai pilar ketersediaan air paling tinggi dibandingkan dengan wilayah lainnya, sedangkan pilar yang nilai IKMI paling

rendah yaitu institusi pengelola. Belitang II memiliki keunggulan pada pilar prasarana irigasi dengan nilai tertinggi dibandingkan wilayah lainnya, sedangkan pilar yang nilai IKMI paling rendah yaitu institusi pengelola irigasi. Belitang III memiliki keunggulan pada pilar prasarana irigasi, namun nilainya tidak lebih baik jika dibandingkan dengan Belitang II. Perbedaan keunggulan pilar modernisasi irigasi dan kekurangan pada setiap wilayah pengamat berpengaruh terhadap kebijakan yang dilakukan untuk perbaikan dan penyempurnaan sebelum modernisasi irigasi diterapkan.

### Nilai IKMI Daerah Irigasi Belitang

Dari hasil pengolahan data IKMI terhadap pilar modernisasi irigasi pada tiga wilayah pengamat di DI Belitang diperoleh nilai IKMI Daerah Irigasi Belitang dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4, penilaian IKMI Daerah Irigasi Belitang termasuk pada kategori cukup, karena mempunyai nilai IKMI sebesar 69,05 yang berada dalam rentang 50 sampai 80. Berdasarkan hasil tersebut, modernisasi irigasi di DI Belitang perlu untuk ditunda dan dilakukan penyempurnaan sistem irigasi selama 1-2 tahun. Pilar ketersediaan air di DI Belitang termasuk kategori cukup dengan nilai IKMI 77. Berdasarkan neraca air debit yang cukup tersedia, namun karena permasalahan jaringan irigasi yang menyebabkan ketersediaan air di petak tersier atau lahan pertanian mengalami kesulitan. Nilai IKMI pilar prasarana irigasi sebesar 80 masuk pada kategori memadai. Nilai ini didapat dari pengamatan sarana dan prasarana meliputi bangunan jaringan utama, saluran jaringan utama (sekunder dan sub sekunder), saluran drainase dan saluran jaringan tersier.

Untuk sistem pengelolaan, nilai IKMI sebesar 59 berada pada kategori cukup. Hal ini disebabkan beberapa faktor antara lain manual dan blanko O&P yang tersedia belum dilaksanakan sepenuhnya, pemeliharaan jaringan drainase belum dilaksanakan secara rutin

Tabel 4. Nilai IKMI Daerah Irigasi Belitang berdasarkan pilar irigasi

Pilar irigasi	Bobot pilar (%)	Tingkat	Predikat	IKMI
Ketersediaan air	20	77	Cukup baik	15,40
Prasarana irigasi	25	80	Cukup baik	20,00
Sistem pengelolaan	15	59	Cukup baik	8,85
Institusi	20	57	Cukup baik	11,40
Sumberdaya Manusia	20	67	Cukup baik	13,40
Nilai IKMI Daerah Irigasi Belitang				69,05

karena terhambat keterbatasan anggaran, adanya pencurian air di saluran sekunder dan sub sekunder, serta pada saluran terdapat sampah. Nilai IKMI untuk institusi pengelola sebesar 55 masuk kategori cukup. Berdasarkan hasil kuesioner, terdapat beberapa GP3A dan P3A yang telah terbentuk sudah mempunyai aktivitas namun belum efektif dalam menjalankan peranannya dan pelaksanaan kesepakatan belum sesuai. Selain itu, kegiatan pemberdayaan yang dilakukan oleh petugas wilayah pengamat belum merata ke P3A yang ada. Terakhir, Nilai IKMI pilar sumberdaya manusia sebesar 69, yang masuk dalam kategori cukup. Hal ini dapat dilihat dari jumlah tenaga sudah cukup baik pengamat, staf, juru dan petugas pintu air dan sebagian besar besar sudah berstatus pegawai negeri sipil (PNS). Namun hal tersebut tidak diimbangi dengan adanya tenaga O&P yang memiliki sertifikat keahlian masih sangat kurang yaitu sekitar <20% dan P3A yang mendapatkan pelatihan baru sekitar <40%.

**Pengambilan Keputusan dengan Metode AHP**

Menentukan *pairwise comparison* kriteria merupakan tahap pertama dalam analisis menggunakan metode AHP. Selanjutnya *eigenvector criteria*

ditentukan dengan mengkuadratkan matriks *pairwise comparison* kriteria dan menambahkan semua angka dalam satu baris matriks yang diperoleh, kemudian dinormalisasi. Tahap selanjutnya, matriks *pairwise comparison* dikalikan dengan kriteria *eigenvector* untuk untuk menghasilkan matriks ranking kriteria (Pradipta dkk., 2019). Perangkingan kriteria dapat dilihat pada Gambar 3.

Berdasarkan Gambar 3, perangkingan pilar modernisasi irigasi dengan metode AHP yang menempati ranking pertama yaitu prasarana irigasi dengan nilai bobot 1,21, selanjutnya ranking kedua yaitu ketersediaan air, institusi pengelola dan sumberdaya manusia dengan nilai bobot 0,96, dan ranking terakhir yaitu sistem pengelolaan dengan nilai bobot 0,72. Hasil tersebut menunjukkan bahwa prasarana irigasi memiliki tingkat kepentingan paling tinggi dan sistem pengelolaan berada di tingkat terendah.

Untuk memperoleh keputusan urutan pengembangan dan penyempurnaan wilayah sebelum dilakukan modernisasi irigasi maka perlu ditentukan matriks solusi. Penyusunan matriks ini merupakan hasil perkalian antara *pairwise comparison alternative* dengan ranking kriteria yang diperoleh dari skor pada Gambar 3. Sedangkan *pairwise comparison alternatif* menggunakan IKMI setiap pilar modernisasi irigasi

Criteria pairwise comparison					Kriteria eigenvector	Ranking kriteria
KA	PI	SP	II	SDM		
KA	1.00	0.80	1.33	1.00	1.00	$\begin{pmatrix} 0.19 \\ 0.31 \\ 0.11 \\ 0.19 \\ 0.19 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.96 \\ 1.21 \\ 0.72 \\ 0.96 \\ 0.96 \end{pmatrix}$
PI	1.25	1.00	1.67	1.25	1.25	
SP	0.75	0.60	1.00	0.75	0.75	
II	1.00	0.80	1.33	1.00	1.00	
SDM	1.00	0.80	1.33	1.00	1.00	

KA : Ketersediaan air  
 PI : Prasarana irigasi  
 SP : Sistem pengelolaan  
 II : Institusi irigasi  
 SDM : Sumberdaya manusia

Gambar 3. Ranking pilar modernisasi irigasi DI Belitang

	Alternative pairwise comparison					Ranking kriteria	Ranking alternatif
	KA	PI	SP	II	SDM		
Belintang I	$\begin{pmatrix} 0.36 & 0.33 & 0.35 & 0.31 & 0.35 \\ 0.34 & 0.36 & 0.34 & 0.33 & 0.36 \\ 0.29 & 0.31 & 0.31 & 0.35 & 0.29 \end{pmatrix}$	x	$\begin{pmatrix} 0.96 \\ 1.21 \\ 0.72 \\ 0.96 \\ 0.96 \end{pmatrix}$	=	$\begin{pmatrix} 1.65 \\ 1.67 \\ 1.51 \end{pmatrix}$	2 1 3	
Belintang II							
Belintang III							

Gambar 4. Matriks solusi

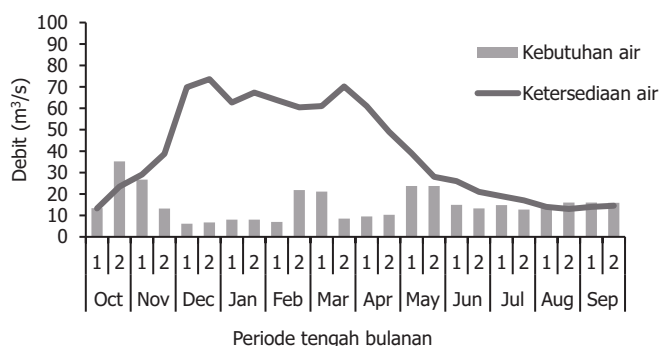
pada wilayah pengamat yang telah dinormalisasi. Matriks solusi disajikan pada Gambar 4.

Berdasarkan Gambar 4 diperoleh hasil perankingan alternatif secara berurutan dari yang terbaik sampai terendah yaitu Belintang II, Belintang I, dan Belintang III dengan nilai bobot masing-masing 1,67; 1,65; dan 1,51. Oleh karena itu, penyusunan skala prioritas pengembangan dan penyempurnaan wilayah pengamat dimulai dari kesiapan modernisasi terendah yaitu diurutkan mulai dari Belintang III, Belintang I, dan Belintang II.

### Optimasi Alokasi Air Irigadi DI Belintang

#### Keseimbangan air irigasi sebelum optimasi

Dari hasil analisis terhadap ketersediaan dan kebutuhan air irigasi di DI Belintang, maka dapat ditentukan keseimbangan air irigasi. Keseimbangan air irigasi berfungsi untuk mengetahui daerah irigasi mengalami kelebihan air irigasi (surplus) atau kekurangan (defisit). Berdasarkan hasil analisis, keseimbangan air irigasi ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Keseimbangan air irigasi DI Belintang

Berdasarkan Gambar 5. DI Belintang mengalami defisit dan surplus air irigasi. Defisit air terjadi pada musim tanam III yaitu pada setengah bulan pertama bulan Agustus sampai dengan setengah bulan kedua Oktober (Peralihan Musim Tanam III ke Musim Tanam I). Defisit air dapat diatasi dengan beberapa langkah

diantaranya dengan melakukan optimasi alokasi air yang tersedia dan melakukan perubahan luas area tanam pada komoditi tanaman yang dibudidayakan.

### Keuntungan Produksi Pertanian

Keuntungan bersih diperoleh dari pendapatan dikurangi biaya produksi. Biaya produksi budidaya pertanian terdiri dari biaya pengolahan lahan, biaya pembelian benih, biaya tanam, biaya pupuk, biaya penyemprotan, dan biaya panen. Hasil manfaat produksi dapat dilihat pada Tabel 5. Berdasarkan manfaat tersebut dapat dirumuskan fungsi tujuan seperti pada Persamaan (8).

$$\max Z = \sum_{i,k=1}^3 18.435.000 X_{ipadi\ Mt-k} + \sum_{i,k=1}^3 15.280.000 X_{ijagung\ Mt-k} \quad (8)$$

Dimana,  $\max Z$  = total keuntungan maksimum (Rupiah),  $X$  = luas area tanam komoditas tanaman (ha),  $Mt-k$  = musim tanam ke- $k$  ( $k = 1,2,3$ ), dan  $i$  = golongan ( $i = 1,2,3$ ).

### Luas Area Tanam Eksisting

Berdasarkan data yang diperoleh dari 3 wilayah pengamat DI Belintang dan Kantor Bendung Perjaya, luas tanam *eksisting* tiap komoditi per musim tanam dapat dilihat pada Tabel 6.

Berdasarkan data luas area tanam, maka persamaan matematika untuk fungsi kendala luas area tanam dapat ditentukan. Luas area tanam setiap musim tanam tidak boleh lebih dari 21.958 ha dan Luas tanam setiap komoditas pada tiap golongan tidak boleh melebihi luas pada golongan tersebut. Golongan I (Belintang I) seluas seluas 6051 ha, Belintang II seluas 7576 ha dan Belintang III seluas 7971 ha. Persamaan matematika untuk fungsi kendala luas tanam tersaji pada Persamaan (9) sampai dengan (12).

$$\sum_{i,j=1}^p X_{ij\ Mt-k} \leq 21.598 \quad (9)$$



Tabel 5. Keuntungan produksi pada setiap komoditas per hektar

Komoditas	Biaya produksi (Rp/ha)	Produktivitas GKG (ton/ha)	Nilai jual (Rp/kg)	Pendapatan (Rp/ha)	Keuntungan (Rp/ha)
Padi	6.780.000	6,15	4.100	25.215.000	18.435.000
Palawija	3.900.000	5,48	3.500	19.180.000	15.280.000

Tabel 6. Luas area tanam *eksisting* DI Belitang

Komoditas	Luas tanam (ha)			Total luas tanam (ha)	Intensitas tanam (IP)
	MT 1	MT 2	MT 3		
Padi	21598	21598	7770	50966	235,98 %
Palawija			4677	4677	21,65 %
Total intensitas tanam (IP)					257,63 %

$$\sum_{j=1}^2 X_{j Mt-k Gol 1} \leq 6.051 \tag{10}$$

$$\sum_{j=1}^2 X_{j Mt-k Gol 2} \leq 7.576 \tag{11}$$

$$\sum_{j=1}^2 X_{j Mt-k Gol 3} \leq 7.971 \tag{12}$$

**Ketersediaan Air pada Periode Setengah Bulanan**

Ketersediaan air ditentukan dengan volume air yang tersedia pada periode setengah bulanan mulai dari oktober sampai dengan September. Hasil perhitungan volume air yang tersedia pada periode setengah bulanan dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8. Kebutuhan air irigasi dipengaruhi oleh kebutuhan air tanaman konsumtif, kebutuhan air pengolahan tanah, kebutuhan air pemeliharaan tanaman, perkolasi dan curah hujan efektif. Hasil perhitungan volume air untuk memenuhi kebutuhan air tanaman pada periode setengah bulanan pada 2 komoditas tanaman yaitu padi dan jagung pada 3 musim tanam dapat dilihat pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 7 dan Tabel 8 menunjukkan volume air pada periode setengah bulanan mulai bulan Oktober sampai dengan bulan September sesuai dengan awal musim

tanam. Volume air tersebut digunakan sebagai batas maksimal ketersediaan air (Q<sub>i</sub>) yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air tanaman. Tabel 9 dan Tabel 10 menunjukkan volume air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan air tanaman komoditas padi dan jagung setiap periode setengah bulanan mulai setengah bulan pertama (Oktober setengah bulan ke-2) sampai dengan setengah bulan yang ke-24 (Oktober setengah bulan pertama). Persamaan matematika untuk fungsi kendala ketersediaan air pada periode setengah bulanan terdapat 24 persamaan sesuai dengan jumlah periode setengah bulanan. Persamaan setengah bulan pertama dimulai dari awal musim tanam pada bulan Oktober setengah bulan ke-2 ditunjukkan pada Persamaan (13).

$$\sum_{i,j=1}^p X_{ij1} K_{ij1} \leq 30,404.10^6 \tag{13}$$

Dimana, X<sub>ij1</sub> = luas area tanam komoditi j pada golongan i pada periode setengah bulan ke-1, dan K<sub>ij1</sub> = kebutuhan air komoditi j pada golongan i pada periode setengah bulan ke-1.

Untuk persamaan setengah bulan ke-2 sampai dengan persamaan setengah bulan ke-24 dapat ditentukan dengan hanya mensubstitusikan nilai volume air sesuai dengan Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Volume air yang tersedia pada periode setengah bulanan (Oktober - Maret)

Bulan	Oktober		November		Desember		Januari		Februari		Maret	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Volume air (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	17,236	30,404	37,713	50,155	90,460	95,385	81,220	87,272	82,684	78,343	79,056	90,979

Tabel 8. Volume air yang tersedia pada periode setengah bulanan (April - September)

Bulan	April		Mei		Juni		Juli		Agustus		September	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Volume air (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	79,056	63,504	50,544	36,288	33,696	27,216	24,264	22,032	18,144	16,848	18,144	18,792

Tabel 9. Kebutuhan air irigasi pada periode setengah bulanan (Oktober – Maret)

Volume air (m <sup>3</sup> )		Oktober		November		Desember		Januari		Februari		Maret	
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Gol I	Padi	1089,0	2113,0	1601,0	793,1	369,8	405,3	480,7	480,7	109,1	1310,0	1266,0	511,6
	Jagung	755,8	1182,0	560,4	131,0	528,0	309,0	174,0	193,0	248,0	191,6	270,0	484,0
Gol II	Padi	639,2	594,2	1601,0	2832,0	369,8	405,3	480,7	480,7	340,9	385,9	1266,0	2530,0
	Jagung	755,8	755,8	600,9	560,4	528,0	309,0	174,0	193,0	248,0	248,0	186,0	270,0
Gol III	Padi	639,2	639,2	12,9	2337	2394,0	405,3	480,7	480,7	340,9	340,9	391,5	2035,0
	Jagung	755,8	755,8	144,9	600,9	120,5	309,0	174,0	193,0	248,0	248,0	162,0	186,0

Tabel 10. Kebutuhan air Irigasi pada periode setengah bulanan (April – September)

Volume air (m <sup>3</sup> )		April		Mei		Juni		Juli		Agustus		September	
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Gol I	Padi	572,0	617,5	1425,0	1425,0	895,0	1985,0	2318,0	1599,0	1763	1813	1761	1761
	Jagung	439,0	158,0	740,2	717,4	527,1	923,5	1131,0	556,0	707,3	1013	1072	1049
Gol II	Padi	572,0	617,5	1425,0	1425,0	445,0	400,0	2318,0	3664,0	1763	1813	1761	1761
	Jagung	439,0	158,0	740,2	717,4	527,1	527,1	1138,0	1131,0	707,3	1013	1072	1049
Gol III	Padi	2709,0	617,5	1425,0	1425,0	445,0	445,0	614,5	3169,0	3947	1813	1761	1266
	Jagung	225,0	158,0	740,2	717,4	527,1	527,1	908,3	1138,0	1186	1013	1072	1049

### Luas Area Optimal dan Keuntungan Maksimum

Rekapitulasi dari hasil optimasi alokasi air untuk luas area tanam optimal disajikan pada Tabel 11. Pada tabel tersebut dijelaskan luas area tanam optimal setiap komoditas pada tiap musim tanam, total luas tanam per tahun dan intensitas tanam per tahun.

Berdasarkan Tabel 11, luas tanam dan intensitas tanam tertinggi pada Pola Tanam III (Padi-Padi-Palawija), sedangkan terendah pada Pola Tanam I (Padi-Padi-Padi). Jika dibandingkan dengan luas area *eksisting*, luas tanam dan intensitas tanam pada Pola Tanam III mengalami peningkatan seluas 4.190 ha dan intensitas tanam 19,40%. Peningkatan luas tanam khususnya terjadi pada musim tanam 3 dengan peningkatan luas tanam tanaman kedua dan penurunan luas tanam padi. Hal ini terjadi karena konsumsi air

irigasi untuk tanaman kedua lebih rendah daripada untuk padi. Peningkatan luas tanam berpengaruh pada keuntungan maksimal yang diperoleh.

Berdasarkan hasil optimasi alokasi air irigasi dengan kendala luas area tanam dan ketersediaan air irigasi, keuntungan maksimum produksi pertanian pada setiap golongan selama 1 tahun dengan beberapa Pola Tanam disajikan pada Tabel 12.

Keuntungan maksimum ditentukan berdasarkan jumlah keuntungan untuk setiap musim tanam pada setiap golongan. Berdasarkan Tabel 12, keuntungan maksimum per tahun tertinggi diperoleh pada Pola Tanam III sebesar Rp1.050.531.620.000,00 dengan luas tanam 59.833 ha. Hal ini sesuai dengan total luas tanam tertinggi dalam pola tanam ini. Oleh karena itu, pola tanam yang dapat diterapkan dengan mempertimbangkan ketersediaan air

Tabel 11. Luas area optimal berdasarkan optimasi alokasi air

Pola tanam	Musim tanam	Komoditi	Luas tanam (ha)			Total luas tanam (ha)	IP (%)
			Gol I	Gol II	Gol III		
	Existing		-	-	-	55,643	257,63
I	MT 1	Padi	6.051	7.576	7.971	52.489	243,08
	MT 2	Padi	6.051	7.576	7.971		
	MT 3	Padi	6.051	3.242	0		
II	MT 1	Padi	6.051	7.576	7.971	57.489	266,18
	MT 2	Padi	6.051	7.576	7.971		
	MT 3	Palawija	2.966	0	0		
III	MT 1	Padi	6.051	7.576	7.971	59.833	277,03
	MT 2	Padi	6.051	7.576	7.971		
	MT 3	Palawija	6.051	7.576	3.010		

Tabel 12. Keuntungan maksimum berdasarkan optimasi alokasi air

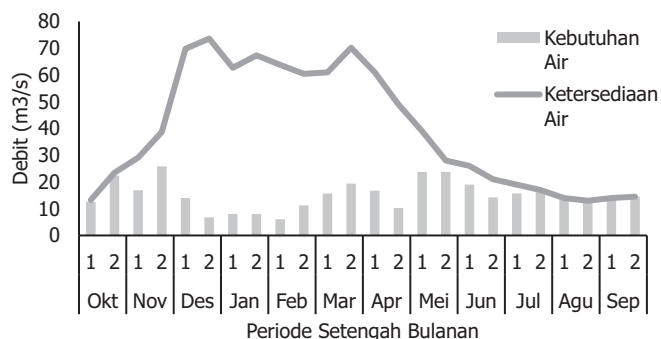
Pola tanam	Total luas tanam (ha)	Golongan	Keuntungan produksi per tahun tiap golongan (rupiah)	Total keuntungan maksimum (rupiah)
Existing	55,643	-	-	1.011.022.770.000
Pola Tanam I (Padi-Padi-Padi)	52.489	Gol I	334.650.555.000	967.634.715.000
		Gol II	339.093.390.000	
		Gol III	293.890.770.000	
Pola Tanam II (Padi-Padi-Padi/ Palawija)	57.489	Gol I	324.917.380.000	1.024.073.030.000
		Gol II	395.088.400.000	
		Gol III	304.067.250.000	
Pola Tanam III (Padi-Padi-Palawija)	59.833	Gol I	315.559.650.000	1.050.531.620.000
		Gol II	395.088.400.000	
		Gol III	339.883.570.000	

dan luas areal yang ada untuk memperoleh luas tanam yang optimal dan keuntungan maksimal per tahun adalah padi-padi-palawija.

### Keseimbangan Air Irigasi Setelah Optimasi

Hasil optimasi menunjukkan bahwa terdapat imbalan air untuk Pola Tanam III yang memberikan surplus air di periode setengah bulan yang dapat dilihat pada Gambar 6. Sedangkan untuk defisit air tidak terjadi dengan penerapan golongan. Surplus air irigasi terjadi pada MT I dan MT II yaitu mulai

Oktober setengah bulan ke-2 sampai dengan Juli setengah bulan ke-1. Pada MT 3 tidak ada surplus air, karena ketersediaan air hanya cukup untuk memenuhi kebutuhan air tanaman pada musim tersebut. Dengan adanya surplus air dan tidak adanya defisit air tersebut, maka keandalan penyediaan air menjadi lebih baik. Selain itu, jika dapat dikelola dengan baik oleh pemegang kebijakan DI Belitang, maka air dapat dimanfaatkan secara optimal sehingga luas area tanam untuk pertanian dapat ditingkatkan dan keuntungan maksimum juga meningkat.



Gambar 6. Keseimbangan air irigasi DI Belitang setelah optimasi

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penilaian indeks kesiapan modernisasi irigasi yaitu 69,05, yang masuk dalam kategori cukup. DI Belitang pada tingkat wilayah belum siap untuk dimodernisasi sehingga diperlukan pengembangan dan penyempurnaan sistem irigasi terlebih dahulu selama 1-2 tahun. Urutan pengembangan dan penyempurnaan kinerja untuk modernisasi irigasi berdasarkan analisis dengan AHP dimulai dari Belitang III, Belitang I dan Belitang II. Keuntungan maksimum dan luas area tanam optimal dengan optimasi alokasi air diperoleh dengan penerapan Golongan pada wilayah DI Belitang dan Pola Tanam Padi-Padi-Palawija. Penerapan Golongan di 3 Wilayah DI Belitang dapat mengurangi defisit air dan terdapat surplus air pada MT I dan MT II. Dengan demikian, Optimasi alokasi air dapat menjadi salah satu upaya dalam peningkatan keandalan penyediaan air irigasi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada BBWS Sumatera VIII, Kantor Bendung Perjaya, Unit pelaksana teknis wilayah Belitang I, II dan III, serta responden baik P3A, GP3A dan petugas wilayah yang telah memfasilitasi pengambilan data penelitian. Penghargaan disampaikan kepada Direktorat Penelitian UGM yang memberikan dana penelitian dalam bentuk hibah program Rekognisi Tugas Akhir 2020.

## KONFLIK KEPENTINGAN

Dengan ini penulis menyatakan bahwa artikel ini bebas dari konflik kepentingan.

## DAFTAR PUSTAKA

Achu, A., Thomas, J., & Reghunath, R. (2020). Multi-criteria decision analysis for delineation of groundwater potential

zones in a tropical river basin using remote sensing, GIS and analytical hierarchy process (AHP). *Groundwater for Sustainable Development*, 10(100365). doi:<https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020100365>

Aini, Y. (2015). Analisis keuntungan usaha tani padi sawah di Kecamatan Rokan IV Koto. *Jurnal Ilmiah Cano Ekonomos*, 4(1), 121-130.

Arif, S., Prabowo, A., Sastrohardjono, S., Sukarno, I., Sidharti, T., Subekti, E., . . . Yulianti, N. (2014). *Pokok-pokok Modernisasi Irigasi Indonesia*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Deputi Bidang Koordinasi Pangan dan Pertanian. (2018). *Program Pengembangan Pengelolaan Sistem Irigasi di Indonesia*. Jakarta: Kementerian Koordinasi Bidang Perekonomian.

Direktorat Jenderal Sumberdaya Air, Direktorat Irigasi dan Rawa. (2011). *Pedoman Modernisasi Irigasi (Sebuah Kajian Akademik)*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Ernawati, E., Yulianti, L., & Suryana, E. (2014). Sistem Informasi Geografis Pembangunan Jaringan Irigasi Di Provinsi Bengkulu Berbasis Website Menggunakan Google Map. *Jurnal Media Informasi*, 10(2), 89-96. doi:<https://doi.org/10.37676/jmi.v10i2.237>

Juwono, P., Limantara, L., & Rosiadi, F. (2018). Optimization of irrigation cropping pattern by using linear programming: Case study on irrigation area of Parsanga, Madura Island, Indonesia. *Journal of Water and Land Development*, 39, 51-60. doi:<https://doi.org/10.2478/jwld-2018-0058>

Limantara, L., Bisri, M., & Fajrianto, R. (2018). Optimization of Water Usage at Irrigation Area of Pakis-Malang Regency-Indonesia by Using Linear Programming. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4), 6432-6436.

Nandini, R. (2018). Analisis Keuntungan Agroforestri Kemiri, Coklat, Kopi dan Pisang di Hutan Kemasyarakatan Sesaot, Lombok Barat. *Jurnal FALOKA*, 2(1), 1-12. doi:<https://doi.org/10.20886/jpkf.2018.2.1.1-12>

Pradipta, A., Prastyasta, A., & Arif, S. (2019). Analisis Kesiapan Modernisasi Daerah Irigasi Kedung Putri pada Tingkat Sekunder Menggunakan Metode K-Medoids Clustering. *AgriTech*, 39(1), 1-11. doi:<https://doi.org/10.22146/agritech.41006>

Saaty, T. (2008). Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. *J. Service Sciences*, 1(1), 83-98. doi:<https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>

Sari, D., Anwar, N., & Sidharti, T. (2019). Analisis Kesiapan Modernisasi Irigasi Pada Daerah Irigasi Kewenangan Pemerintah Provinsi Di Kabupaten Mojokerto. *Jurnal Irigasi*, 14(1), 33-46. doi:<https://doi.org/10.31028/ji.v14.i1.33-45>

Sayekti, R. (2012). Model Optimasi Alternatif Pola Tanam, Untuk Mendapatkan Luas Tanam dan Keuntungan yang Optimum (Studi Kasus di Dam Jatimlerek, Kabupaten Jombang). *Jurnal Pengairan*, 1(2), 115-126.

Suro, M. (2012). *Optimasi Alokasi Air pada Sistem Irigasi Komerling dalam Usaha Peningkatan Produksi Pangan dan Pendapatan Petani Kabupaten OKU Timur*. Magister

Pengelolaan Sumberdaya Air. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Zhang, C., & Guo, P. (2018). FLFP: A fuzzy linear fractional programming approach with double-sided fuzziness for optimal irrigation water allocation. *Agricultural Water Management*, 199, 105-119. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.12.013>